

[文章编号] 1004- 0609(2001) 02- 0167- 05

行波磁场连续净化铝合金液实验^①

钟云波, 任忠鸣, 邓 康, 蒋国昌, 徐匡迪

(上海大学 上海市钢铁冶金重点实验室, 上海 200072)

[摘 要] 采用行波磁场进行了电磁连续净化铝合金液实验, 并采用电磁净化金属熔体的轨线模型, 对实验中的夹杂物去除率进行了理论预测。结果表明, 含夹杂的铝合金液连续流经电磁力作用段时, 夹杂物被阻隔, 形成电磁过滤效应, 而夹杂物聚集区域夹杂物面积分数趋于某一常数。轨线模型预测与实验结果吻合良好。

[关键词] 电磁场; 铝合金液; 净化; 电磁过滤

[中图分类号] TF1

[文献标识码] A

电磁净化技术是 20 世纪 80 年代初期提出, 并为冶金工作者广泛研究的一种新型的金属液净化技术^[1~5]。目前已有的电磁设计方案有: 直流电流- 稳恒磁场^[6, 7], 交变电流^[8~10], 交变复合电磁场^[11, 12], 行波磁场^[13, 14], 旋转磁场^[15] 和 高频磁场^[16, 17] 等。其中利用交变磁场或交变电流, 由于勿须接触金属液而对其施加电磁力作用, 避免了电极浸渍污染金属液, 因而受到重点关注。但到目前为止, 采用电磁法连续净化金属液的研究尚不多见。本文作者采用夹杂物含量高的铝合金液, 对行波磁场连续净化过程进行研究。

1 实验

1.1 合金熔体准备

当铝镁合金中镁含量超过 5% 时, 合金液中的氧化夹杂含量大大增加^[18]; 同时镁的存在又对铝液与氧化铝的润湿有利^[19]。因此, 作者采用纯铝和纯镁配制成含镁 12% 的铝镁合金液, 通过搅拌和保温来获得氧化夹杂含量较高的金属液。

1.2 夹杂物含量分析

考虑到铝和镁与氧有强烈的亲和力, 因此铝镁合金液中的夹杂物绝大部分为铝和镁的氧化物, 因此可通过测定净化前后熔体中氧的含量来间接考察熔体中夹杂物的去除情况。此外, 还对试样截面进行了金相分析。

1.3 实验操作

将 800 g 铝镁合金置于石墨坩埚中, 在数控电阻炉中加热至 900 °C 并保温 2h, 其间对熔体进行适当搅拌。将预热的金属液流通管道置于行波磁场空间中, 两端连上铜导线, 与合金液形成导电回路^[4]。当铝合金液平稳浇入管道中时, 导电回路中产生感生电流, 在行波磁场感生电磁力作用下, 金属液中夹杂物向电磁力逆方向迁移抵达管壁。根据金属液流动时间 (金属液流动时间一般为 30~ 50 s), 流出的金属液质量和管道横截面积来计算金属液流速。通过控制浇口和冒口中的液位差来控制流速。在浇口和冒口处分别取样, 进行氧含量分析。在电磁净化前段 $y = -15$ cm, 电磁净化段 $y = 0, 4, 8, 12, 16$ cm, 电磁净化后段 $y = +31$ cm (取合金熔体流向为 y 方向) 处截取试样进行金相分析。

2 结果及讨论

2.1 氧去除率与金属液流速的关系

金属液中氧去除率按式 (1) 进行计算:

$$\eta_0 = 1 - \frac{w_o(O)}{w_f(O)} \quad (1)$$

式中 $w_o(O)$ 为浇入前金属液中氧的质量分数; $w_f(O)$ 为流出口氧的质量分数。

金属液中初始氧含量基本保持在 2×10^{-4} 左右。氧去除率与金属液流速的关系如图 1 所示。从图 1 可以看出, 未施加电磁力时, 合金熔体中氧去除率较低, 甚至某些实验点氧去除率接近零; 而施

① [基金项目] 上海市科委重点资助项目(97JC14017); 上海市教委青年基金资助项目(2000QN61)

[收稿日期] 2000- 05- 19; [修订日期] 2000- 07- 28

[作者简介] 钟云波(1971-), 男, 讲师, 博士。

加电磁力后,氧去除率大大增加,可达未施加电磁力时的一倍以上,这说明施加行波磁场显著提高了夹杂物的去除效率。当金属液流速小于 5 cm/s 时,氧去除率可达到 75% 以上,但随着合金液流速的增加,金属液受电磁力作用的时间变短,夹杂物在电磁力作用段没有足够的时间到达管壁,因而氧去除率急剧下降。为了在高流速下获得高的夹杂物去除率,应增加电磁力或延长电磁力作用段的距离^[14]。

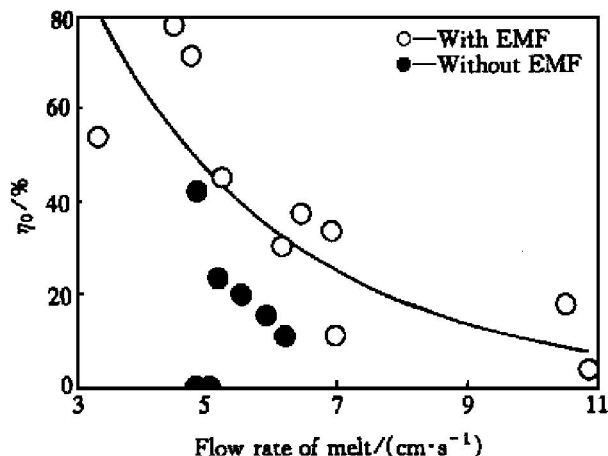


图 1 氧去除率与金属液流速的关系

Fig. 1 Relationship between oxygen removal efficiency and flowing rate of melt

2.2 金属液流道中夹杂物的分布

金属液不同区域截面上夹杂物的分布如图 2 和图 3 所示。从图 2 中可以看出,无电磁力时,各断面上的夹杂物分布状况基本相同,呈上浮偏聚。而施加电磁力时(如图 3 所示),在电磁力作用前段,夹杂物的分布状况与无电磁力时相同;在电磁力作用段,夹杂物明显地分布于电磁力逆向侧,而且截面上夹杂物的含量大大高于电磁力作用前段;在电磁力作用后段,整个截面上夹杂物较少,这说明电磁力作用段对夹杂物有“陷留”作用,使金属液得以纯化,这一现象称为电磁过滤效应。

对截面上沿电磁力方向的夹杂物面积分数进行定量金相分析,结果见图 4。可见 2 点以下区域的夹杂物含量大大减少,而 2 点以上夹杂物含量显著增加,形成夹杂物富集区,夹杂物富集区内夹杂物的含量在 15% 左右。

2.3 行波磁场净化能力的实验与理论分析

对于一种净化方案,不但要考察各种粒径夹杂物的去除效率,还要考察能完全去除的夹杂物的最小粒径。因此作者对净化前后试样断面上的夹杂物数量与粒径分布进行了金相分析(为便于统计,非

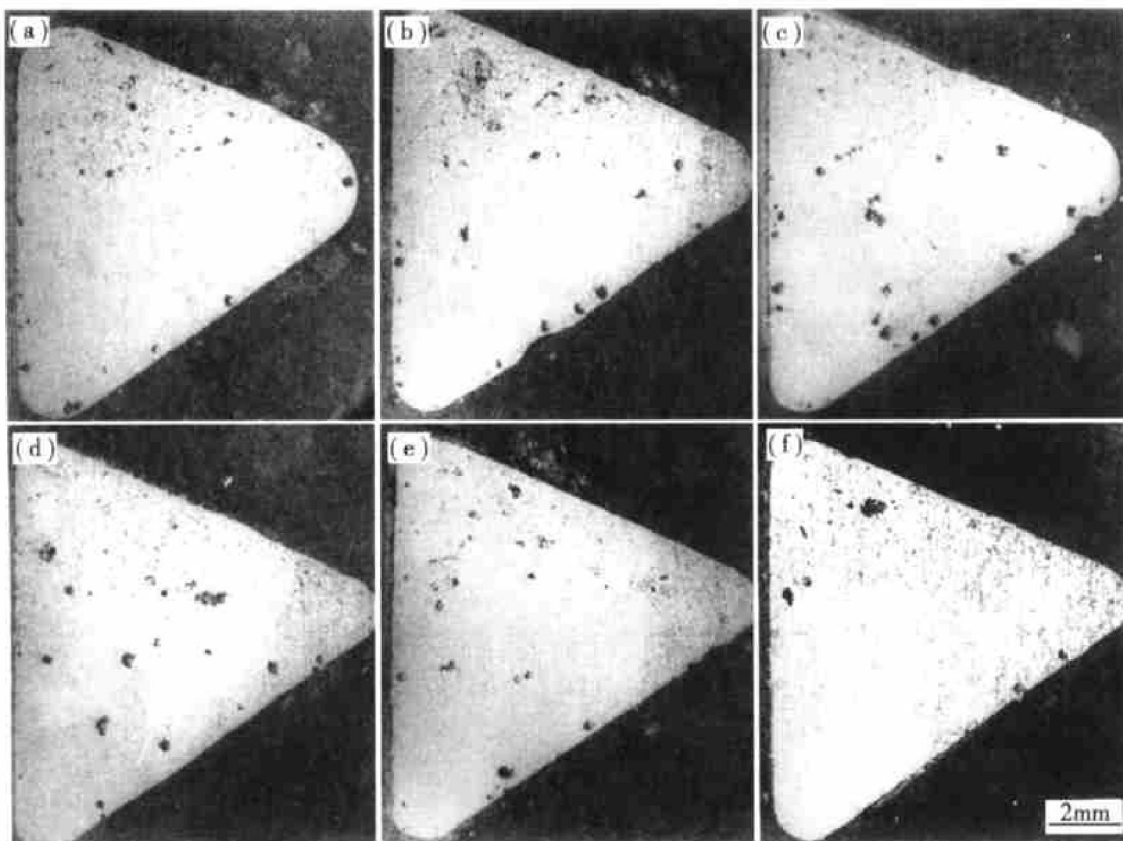


图 2 无电磁力作用时各区域段中夹杂物的分布

Fig. 2 Distribution of non-metallic inclusion without electromagnetic force(EMF)

(a) $-y = -10 \text{ cm}$; (b) $-y = 0 \text{ cm}$; (c) $-y = 4 \text{ cm}$; (d) $-y = 8 \text{ cm}$; (e) $-y = 16 \text{ cm}$; (f) $-y = 26 \text{ cm}$

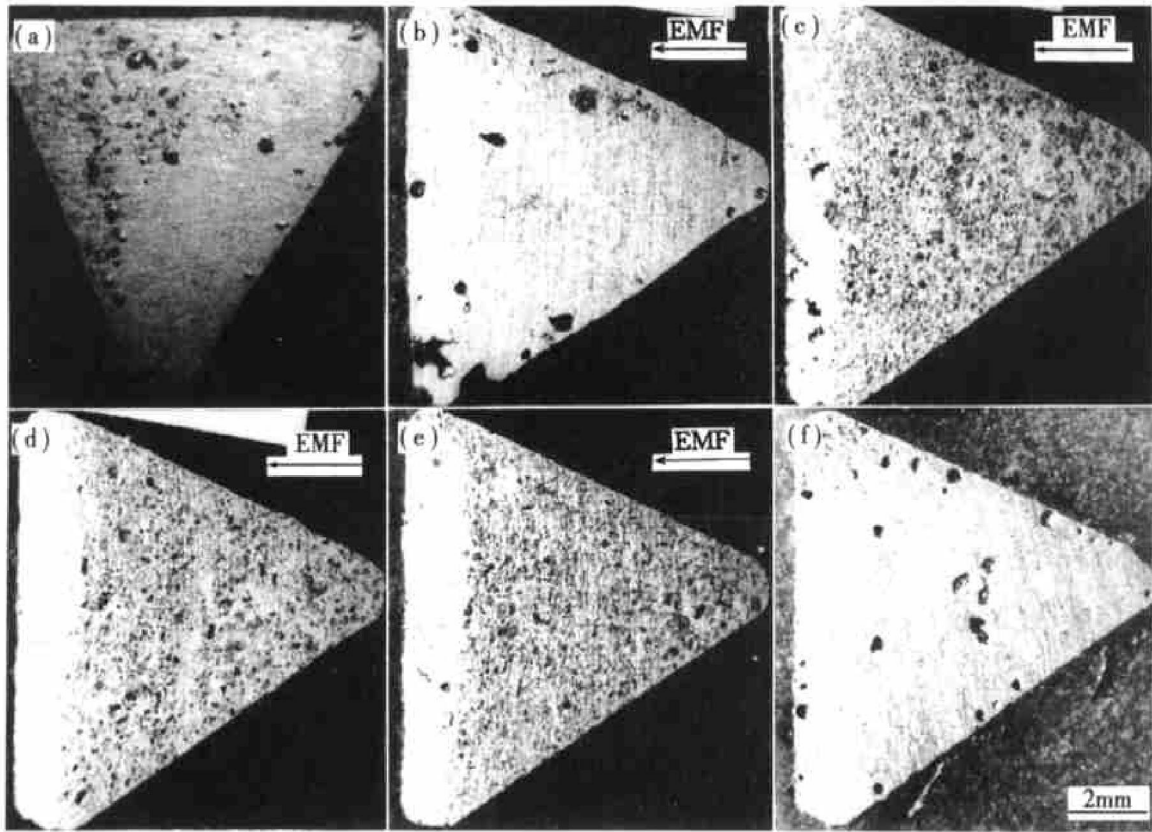


图 3 在电磁力作用下各区域段中夹杂物的分布

Fig. 3 Distribution of non-metallic inclusion with electromagnetic force(EMF)

(a) $-y = -15\text{ cm}$; (b) $-y = 0\text{ cm}$; (c) $-y = 4\text{ cm}$; (d) $-y = 8\text{ cm}$; (e) $-y = 16\text{ cm}$; (f) $-y = 31\text{ cm}$

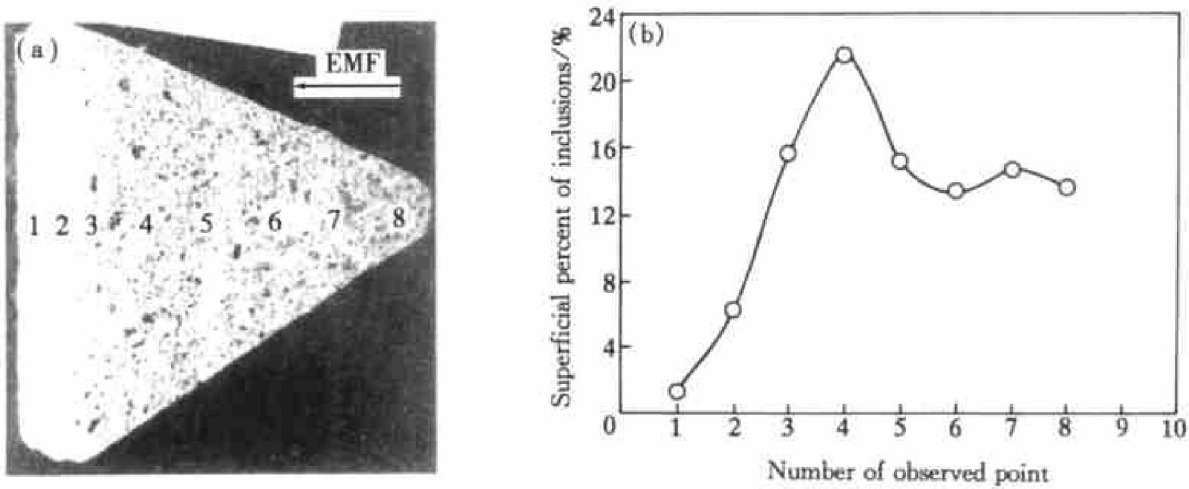


图 4 $y = 8\text{ cm}$ 截面上夹杂物面积分数在电磁力方向上的变化

Fig. 4 Superficial percent of inclusions along direction of EMF in section of $y = 8\text{ cm}$

(a) —Position of observed point; (b) —Superficial percent of inclusious

球形颗粒粒径采用等面积法换算成球形颗粒粒径),同时根据实验条件,采用轨线模型^[14],对夹杂物去除效率进行理论预测。图 5 为行波磁场净化前后断面上夹杂物数量与粒径分布关系,图 6 为净化前后金属试棒断面上的显微组织,图 7 为采用轨线模型计算的各种粒径的 Al_2O_3 夹杂物的去除率,此时电磁力密度为 $1.632 \times 10^5\text{ N/m}^3$ 。由于氧化镁的密度为 3.45 g/cm^3 ,而 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的密度为 3.47 g/cm^3 ,

因此氧化镁的去除情况应与 Al_2O_3 相近。

图 5 表明,在本实验条件下,粒径大于 $38\text{ }\mu\text{m}$ 的夹杂物几乎全部除去,而小于 $35\text{ }\mu\text{m}$ 的夹杂物则有一定数量滞留。图 6 也表明,电磁净化后金属中夹杂物的数量大大减小,但仍有少量微细的夹杂物存在,其最大粒径约为 $30\text{ }\mu\text{m}$ 。图 7 表明,在本实验条件下,理论预测行波磁场能全部去除的夹杂物粒径为 $33\text{ }\mu\text{m}$,这与图 5 和图 6 的结果基本一致。

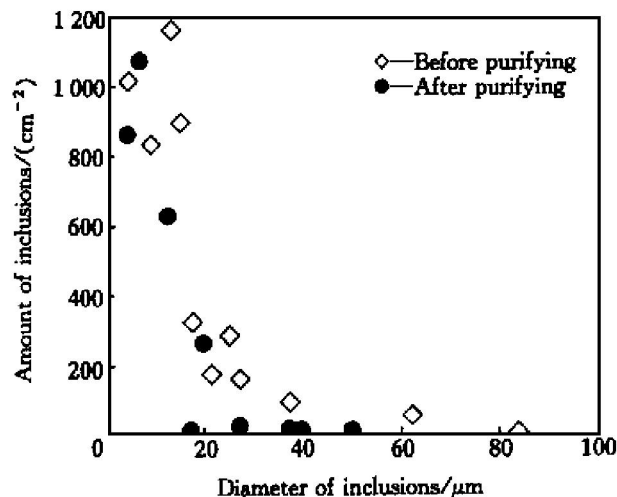


图5 电磁净化前后夹杂物数量与粒径的关系

Fig. 5 Relationship between amount of inclusions and its diameter before and after purifying

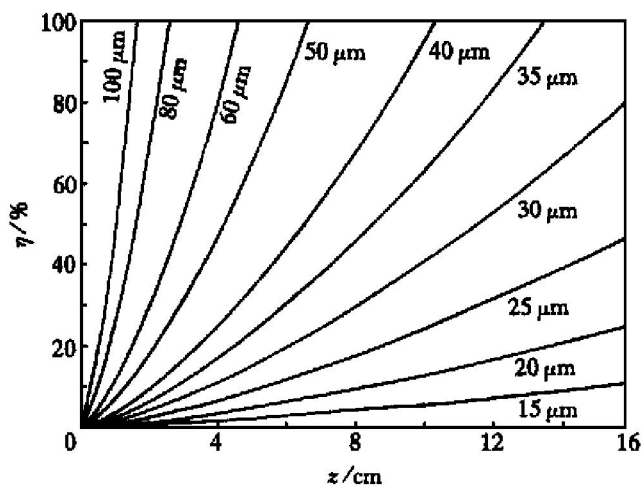


图7 采用轨线模型计算的夹杂物去除效率

Fig. 7 Calculated inclusion-removal efficiency by trajectory model

3 结论

1) 采用行波磁场, 实现了铝合金熔体的连续净化; 在电磁力大小、电磁力作用距离与金属液流速相互匹配时, 行波磁场净化金属液能获得较高的净化效率。

2) 当金属液流经电磁力作用段时, 电磁力对金属液中的夹杂物有分离阻隔的作用, 形成电磁过滤现象, 使金属液得到纯化。

3) 夹杂物在行波磁场作用下发生偏聚时, 偏聚区域夹杂物的面积分数趋近某一常数。

4) 行波磁场净化金属液时, 净化效率可采用轨线模型加以描述。

[REFERENCES]

- [1] Marty P and Alemany A. Theoretical and experimental aspects of electromagnetic separation. Metallurgical Applications of Magnetohydrodynamics [A]. Proceedings of a Symposium of the International and Applied Mechanics (IUTAM) [C]. Cambridge, 1982. 245– 259.
- [2] Patel A D and Nagy E K. On the theory of electromagnetic separation in alternating electromagnetic fields [A]. International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials [C]. Nagoya, 1994. 115– 120.
- [3] Shigeo Asai. Birth and recent activities of electromagnetic processing of materials [J]. ISIJ International, 1989, 29 (12): 981– 992.
- [4] ZHONG Yun-bo(钟云波). 电磁力场作用下液态金属中非金属颗粒迁移规律及其应用研究 [D]. Shanghai: Shanghai University, 2000.
- [5] ZHONG Yun-bo(钟云波), REN Zhong-ming(任忠鸣),

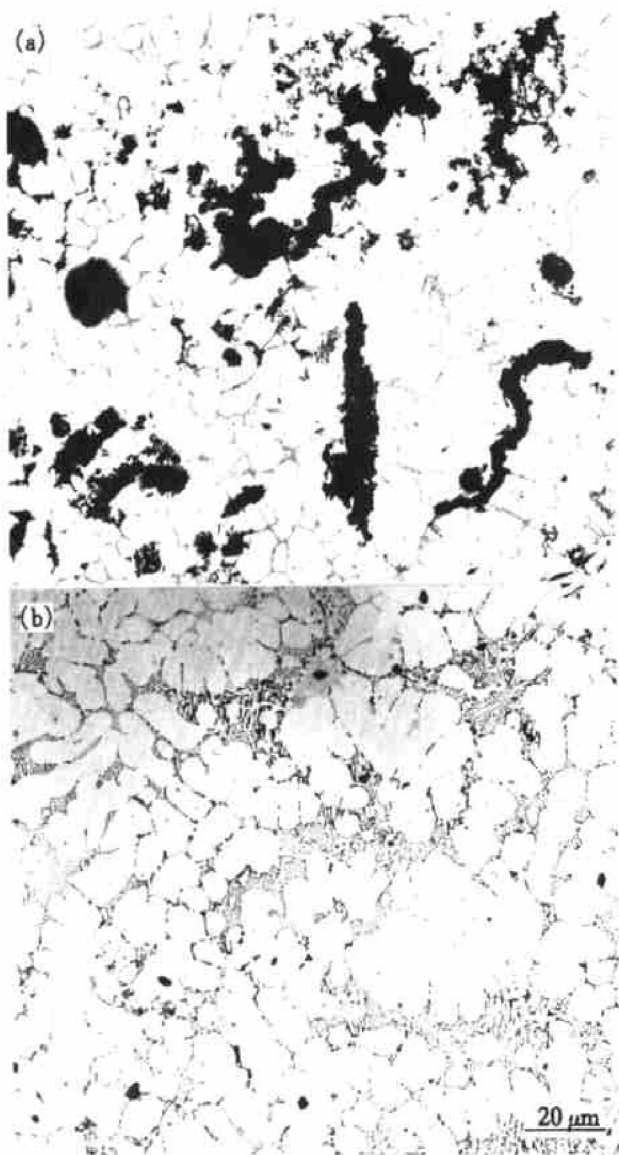


图6 净化前后合金的金相组织

Fig. 6 Microstructures of alloy before and after purifying

(a) —Before purifying; (b) —After purifying

- DENG Kang(邓 康), et al. 金属电磁净化技术的一种革命性方法—电磁净化法 [A]. Proceedings of the Fifth National Symposium on Metallurgical Technology and Theory [C]. Baotou, 1999.
- [6] Park J P, Sassa K and Asai S. Moving behavior of inclusions by electromagnetic force imposed in the horizontal direction [J]. CAMP-ISIJ, 1993, 6: 2.
- [7] Park J P, Tanaka Y, Sassa K, et al. Elimination of tramp elements in molten metal using electromagnetic force [A]. International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials [C]. Nagoya, 1994.
- [8] Taniguchi S and Brimacombe J J. Application of pinch force to the separation of inclusion particles from liquid steel [J]. ISIJ International, 1994, 34(9): 722–731.
- [9] Taniguchi S and Brimacombe J J. Numerical analysis on the separation of inclusion particles by pinch force from liquid steel flowing in a rectangular pipe [J]. Tetsu-to-Hagane, 1994, 80(4): 58–63.
- [10] Taniguchi S and Brimacombe J J. Separation of non-metallic inclusions from liquid metal by pinch force [J]. CAMP-ISIJ, 1993, 6: 3.
- [11] Taniguchi S. New advancement in electromagnetic processing of materials [J]. CAMP-ISIJ, 2000, 13: 74.
- [12] Tanaka Y, Sassa K, Iwai K, et al. Separation of non-metallic inclusions from molten metal using travelling magnetic field [J]. Tetsu-to-Hagane, 1995, 81(12): 12–17.
- [13] ZHONG Yun-bo(钟云波), REN Zhong-ming(任忠鸣), DENG Kang(邓 康), et al. 行波磁场净化液态金属的电磁力参数 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1999, 9(3): 482.
- [14] ZHONG Yun-bo, REN Zhong-ming, DENG Kang, et al. Separation of inclusions from liquid metal contained in a triangle/square pipe by travelling magnetic field [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(2): 240–245.
- [15] REN Zhong-ming(任忠鸣) and ZHONG Yun-bo(钟云波). 旋转磁场净化液态金属装置 [P]. Chinese Patent: 992262535, 1999.
- [16] Sassa K, Yamao H and Asai S. Separation of inclusions in liquid metal using alternating magnetic field [A]. International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials [C]. Paris, 1997. 157–161.
- [17] Yamao F, Sassa K, Iwai K, et al. Separation of inclusions in liquid metal using fixed alternating magnetic field [J]. Tetsu-to-Hagane, 1997, 83(1): 30–35.
- [18] Eault L, Alibert M and Dubus A. In-situ study of liquid Al-Mg alloys oxidation [J]. Materials Science Forum, 1996, 217/222: 165–170.
- [19] Mortensen A and Jin I. Solidification processing of metal matrix composites [J]. International Material Reviews, 1992, 37: 101.

Continuously purifying experiment of aluminum base alloy melt by travelling magnetic field

ZHONG Yun-bo, REN Zhong-ming, DENG Kang, JIANG Guo-chang, XU Kuang-di
(Shanghai Enhanced Laboratory of Ferrous Metallurgy, Shanghai University,
Shanghai 200072, P. R. China)

[Abstract] The experiment on continuously purifying of aluminum base alloy melt by travelling magnetic field was carried out. The trajectory model was used to calculate the inclusion-removal efficiency. The results show that the inclusions in aluminum base alloy melt can be captured when the melt flows through the electromagnetic field, which is called “electromagnetic filtration”, and the superficial percent of the inclusions trend to some certain value. The calculated minimum diameter of thoroughly removed inclusions conforms to the observed one.

[Key words] electromagnetic field; aluminum base alloy melt; purifying; electromagnetic filtration

(编辑 杨 兵)